



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

**REEMPLAZO DE MATERIAL TIPO FINO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES POR
PRODUCTO DE CONCRETO HIDRÁULICO RECICLADO EN BOGOTÁ**

AUTORES:

DIANA MARCELA HERRERA

SERGIO DURÁN

**TESIS PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, FACULTAD DE
INGENIERÍA**

**COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALIZACIÓN EN
PAVIMENTOS**

BOGOTÁ D.C

JUNIO DE 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

**REEMPLAZO DE MATERIAL TIPO FINO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES POR
PRODUCTO DE CONCRETO HIDRÁULICO RECICLADO EN BOGOTÁ**

AUTORES:

DIANA MARCELA HERRERA

SERGIO DURÁN

ORIENTADORES

DR. INGENIERO JUAN CARLOS RUGE

DR. ING. JUAN GABRIEL BASTIDAS

TESIS PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA,

FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALIZACIÓN EN
PAVIMENTOS**

BOGOTÁ D.C

JUNIO DE 2019



Atribución-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer un uso comercial de esta obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

AGRADECIMIENTOS

AL Dr. Ing. Juan Carlos Ruge y Dr. Ing. Juan Gabriel Bastidas, por ser las personas que nos orientaron en el desarrollo del presente proyecto.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	1
LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE FOTOS.....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 PROBLEMÁTICA.....	12
1.2 JUSTIFICACIÓN	16
1.3 OBJETIVOS	17
2 ESTADO DEL ARTE Y REVISIÓN DE LITERATURA	18
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL LLENANTE	18
2.2 LINEAMIENTOS DE LA POLÍTICA DE RCD EN BOGOTÁ D.C. – SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE.....	20
2.3 DECRETO 357 DE 1997 – POR EL CUAL SE REGULA EL MANEJO, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE ESCOMBROS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	22
2.4 RESOLUCIÓN 01115 DEL 26 DE SEPTIEMBRE 2012 – POR MEDIO DE LA CUAL SE ADOPTAN LOS LINEAMIENTOS TÉCNICOAMBIENTALES PARA LAS ACTIVIDADES DE APROVECHAMIENTO Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EL DISTRITO CAPITAL	24

2.5	RESOLUCIÓN 932 DE 2015 – OBLIGACIONES DE LOS GRANDES GENERADORES Y POSEEDORES DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN –RCD.....	25
2.6	SECCIÓN 452-1 EMPLEO DE AGREGADOS PÉTREOS A PARTIR DE CONCRETO HIDRÁULICO RECICLADO – IDU	25
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.2	POBLACIÓN DE UNIDADES Y VARIABLES DE MEDICIÓN	27
3.3	DISEÑO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS PRIMARIOS.....	29
3.4	RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS TÉCNICOS	29
3.5	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS PRIMARIOS	29
3.6	MÉTODOS DE CONTROL DE CALIDAD DE DATOS	30
3.7	MODELO DE ANÁLISIS DE LOS DATOS E INTERPRETACIÓN	31
3.8	ANÁLISIS	31
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
4.1	COSIDERACIONES PREVIAS.....	33
4.2	CARACTERIZACIÓN DEL LLENANTE	35
4.3	ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE.....	36
4.4	ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA	38
4.5	ENSAYO MARSHALL	41
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48

6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
	ANEXOS.....	52

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1	CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN RCD FUENTE: ADAPTADA DE LA SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE, 2015 [9]	22
TABLA 3.1	EN ESTA TABLA DE REQUERIMIENTOS SE OBSERVA SU TRAZABILIDAD A LAS NORMATIVAS DE INVIAS Y ASTM.	30
TABLA 4.1	GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE CONTROL.....	34
TABLA 4.2	ENSAYO CÁNTABRO.....	36
TABLA 4.3	RESULTADOS PROMEDIO PARA EL ENSAYO CÁNTABRO	37
TABLA 4.4	RESULTADOS ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA.....	39
TABLA 4.5	RESULTADOS PROMEDIO ENSAYO TRACCION INDIRECTA.....	41
TABLA 4.6	RESULTADOS ENSAYO MARSHALL	42
TABLA 4.7	RESULTADOS ENSAYO MARSHALL PROMEDIO.....	43
TABLA 4.8	MUESTRA DE CONTROL	45
TABLA 4.9	ESTABILIDAD	46

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1. METROS CUADRADOS LICENCIADOS CONSOLIDADOS DE COLOMBIA.....	10
FIGURA 1.2 PROYECCIÓN DE RCD POR SECTOR	13
FIGURA 1.3. CONCRETO PREMEZCLADO SEGÚN DESTINO.....	14
FIGURA 1.4. COMPARATIVO DE RCD REUTILIZADO Ó RECICLADO	15
FIGURA 4.1. GRANULOMETRÍA	34
FIGURA 4.3. ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA	41
FIGURA 4.4. ENSAYO MARSHALL-ESTABILIDAD.....	46
FIGURA 4.5. ENSAYO MARSHALL-FLUJO	47
FIGURA 4.6. RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	47

LISTA DE FOTOS

FOTO 1. PREPARACIÓN DE LA DEMOLICIÓN.....	23
FOTO 2. DEMOLICIÓN	24
FOTO 3. TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN.....	24
FOTO 4. PESO DE PROBETA DESPUÉS DE ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE.....	37
FOTO 5. ROTURA A TRACCIÓN INDIRECTA DE PROBETA CON REEMPLAZO DE 50% DE LLENANTE.....	40
FOTO 6. PROBETAS LUEGO DE ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA.	40
FOTO 7. ROTURA DE ENSAYO MARSHALL.....	43

Reemplazo de material tipo fino en pavimentos flexibles por
producto de concreto hidráulico reciclado en Bogotá.

Marcela Herrera – Sergio Durán

Orientadores: Dr. Juan Carlos Ruge y Dr. Juan Gabriel Bastidas

RESUMEN

La idea del uso de materiales reciclados en el mundo contemporáneo de la construcción y la ingeniería civil se ha convertido en prioridad de la sociedad en general, ya que se ha detectado una explotación acelerada en paralelo con una constante producción de materiales que teóricamente son de desecho pero pueden ser reutilizados de forma eficiente RCD (Residuos de Construcción y Demolición).

Este trabajo se centra en la ciudad de Bogotá buscando la reutilización de materiales de concreto hidráulico en la fracción de llenante haciendo reemplazos a 50% y 100% para finalmente contrastar su comportamiento frente a una muestra de control convencional.

Para poder realizar una comparación efectiva se realizan los ensayos de cántabro de desgaste, tracción indirecta y ensayo Marshall; para cada uno de estos ensayos se toman 9 cuerpos de ensayo tipo briquetas cónicas de 4” de diámetro y 2.5” de altura con el objeto de tener una población mínima de tres especímenes para cada condición (Mezcla de control, reemplazo del 50% del llenante y reemplazo del 100% del llenante).

A partir de este ejercicio experimental se obtiene que las características de composición de la mezcla arrojadas del ensayo Marshall no exponen mayores diferencias pero los ensayos mecánicos ofrecen diferencias notables positivas y específicamente cuando el reemplazo es del 50% la resistencia a la tracción indirecta y la estabilidad mejoran en proporción superior al 30% con respecto a la mezcla de control.

Palabras claves: Reciclado, Llenante, Estabilidad, Desgaste, Tracción, Reemplazo

Replacement of filler material in flexible pavements for
recycled hydraulic concrete product in Bogotá

Marcela Herrera – Sergio Durán

Tutors: Dr. Juan Carlos Ruge y Dr. Juan Gabriel Bastidas

ABSTRACT

The idea of use of recycled materials in the contemporary world of construction and civil engineering has become a priority for society in general, since an accelerated exploitation has been detected in parallel with a constant production of materials that are theoretically waste, but can be reused efficiently RCD (Construction and Demolition Waste).

This document focuses on the city of Bogotá, seeking the reuse of hydraulic concrete materials in the filler fraction making replacements at 50% and 100% to finally contrast their behavior against a conventional control sample without replacement.

To carry out an effective comparison, the “Cantabro” tests for wear, indirect traction and Marshall test were performed; For each of these tests, 9 conical briquette test bodies of 4" in diameter and 2.5" in height are taken in order to have a minimum of three specimens for each condition (control mix, 50% replacement of the filler and 100% replacement of the filler).

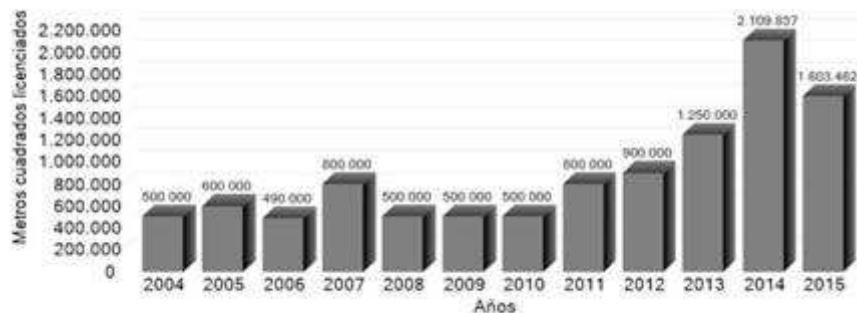
From this experimental exercise it is obtained that the characteristics of composition of the asphalt mix thrown from the Marshall test do not expose major differences, but the mechanical tests offer significant positive differences and specifically when the replacement is 50% the indirect tensile strength and the stability improve in proportion greater than 30% with respect to the control mix.

Keywords: Recycling, Filler, Stability, Traction, Wear, Replacement.

1 INTRODUCCIÓN

El uso de material reciclado es una tendencia mundial y local innegable en todo tipo de construcciones y particularmente para el caso de pavimentos debe convertirse en una fuente de materiales de primera mano.

En Colombia se registran grandes cantidades de residuos y/o escombros producto de la industria de la construcción, los cuales son dispuestos en lugares inadecuados sin un uso remanente. La industria de la construcción se encuentra en un progresivo crecimiento como lo demuestra la investigación referente a los metros cuadrados licenciados cada año en el país (Fig. 1), esto genera gran interés en la investigación, sobre este tipo de materiales lo cual hace beneficioso el tema de la reutilización que se le puede dar al mismo, evitando así un mayor impacto y contaminación ambiental.



Fuente: Dane – m2 licenciados.

Figura 1.1. Metros cuadrados licenciados consolidados de Colombia

Si bien los materiales reciclados ofrecen ventajas ambientales y de costos en zonas de difícil explotación, también plantea retos a nivel técnico y de comportamiento de la estructura que deben ser investigados, reportados, analizados y aplicados donde sea posible, para su monitoreo y aplicabilidad a gran escala.

En medio de este marco y con el sentido ambiental como motor de este trabajo, se busca poder brindar mayores alternativas a la ejecución de las obras, particularmente con el uso de materiales RCD (Residuos de Construcción y Demolición) tipo 1, donde se encuentra específicamente el concreto reciclado. Este material tiene propiedades interesantes a la hora de reutilización por la inherente característica del concreto a incrementar resistencia con el tiempo y su facilidad de producción.

En este documento se plantea el trabajo de grado “REEMPLAZO DE MATERIAL TIPO LLENANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES POR PRODUCTO DE CONCRETO HIDRÁULICO RECICLADO EN BOGOTÁ”, donde se desarrolla la idea de introducir dentro del pavimento flexible materiales de tamaño tipo llenante producto de la trituración del concreto reciclado.

El desarrollo del trabajo se enmarca en las normativas distritales de Bogotá (IDU), medidas legales y económicas por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con Resolución 472 del 28 de febrero de 2017 aplicable a todas las personas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan RCD de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional, en la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos de construcción y demolición o escombros en el país, para disminuir a las afectaciones generadas en el ambiente tales como la contaminación del aire,

el agua, el suelo y el paisaje. Para la ciudad de Bogotá específicamente ya hay dos resoluciones que tratan dicho tema el Decreto 932 de 2015 y la resolución 1115 de 2012 de la Secretaria Distrital de Ambiente.

Teniendo en cuenta la normatividad vigente emplearemos materiales extraídos de la ciudad de Bogotá que previamente han sido demolidos en diferentes sectores y localidades de la ciudad, de los cuales una gran cantidad están siendo depositados en un punto específico “RECICLADOS INDUSTRIALES DE COLOMBIA S.A.S” que es una empresa generadora de materiales reciclados, como subbases, bases y prefabricados, todo generado de la demolición de lozas de concreto, y otros materiales provenientes de demoliciones y excavaciones, la empresa realiza trituración y separación en planta de suministro de áridos hasta lograr el tamaño tipo arena y suministra el material base que posteriormente se llevó a la empresa CONCRESCOL donde realiza la trituración final para obtener el producto tipo llenante que es el que se incorpora en las mezclas de estudio.

1.1 PROBLEMÁTICA

El concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo, en consecuencia los residuos de concreto son unas de las principales fuentes de residuos [1] y se han convertido en una problemática ambiental y social pues su disposición final está encaminada a rellenos sanitarios. En Ciudades como Bogotá, Cali, Medellín se estimaron en conjunto, una cantidad de RCD (Residuos de Demolición y Construcción) de 21,5 millones de toneladas año para el año 2012 [2], como se observa en la siguiente gráfica:

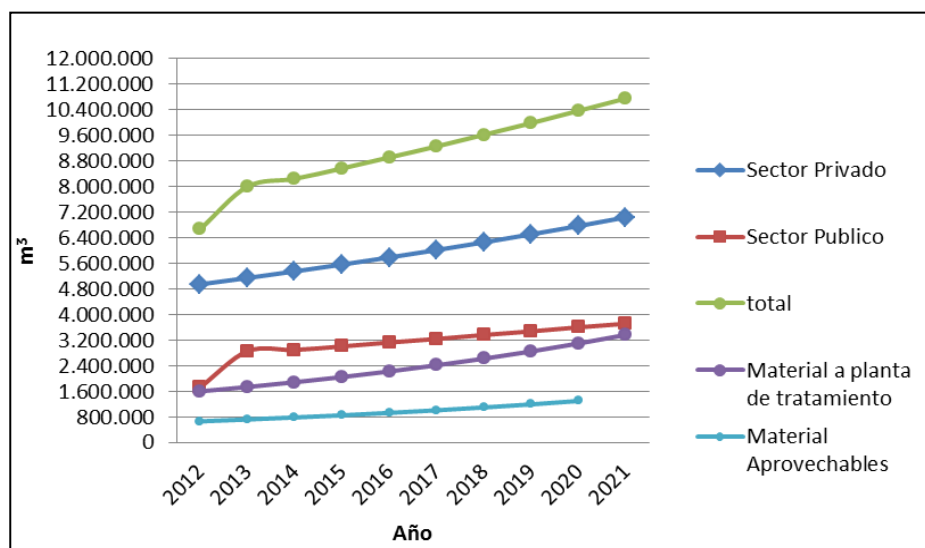


Figura 1.2 Proyección de RCD por Sector

Fuente: Adaptada de UAESP, 2015

Este constante crecimiento de uso del concreto, así como la conciencia ambiental que ha sido reflejada en la evolución de las normativas, que serán cada vez más restrictiva, plantea la necesidad de racionalizar los recursos, y el reciclado en el mundo de la construcción es sin duda el camino a seguir, por lo cual hay que incrementar su investigación y así es como surge la idea de trabajar con estos materiales.

La primera ciudad en regular técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de escombros en Colombia fue Bogotá, ya que en el año 2012 por medio del acuerdo 489 de 2012 se adoptó el plan de desarrollo para Bogotá D.C. En el artículo 30 del plan de desarrollo, se incluyó el programa de Basura Cero el cual tiene entre sus objetivos prioritarios el de reciclaje de escombros.

La demanda de concreto en Colombia ha venido generando un aumento en la explotación de agregados, según el DANE, de enero a julio de 2017, la producción de concreto premezclado fue de 561.700 m³ de los cuales 453.400 m³ son destinados para la construcción de vivienda y edificaciones, presentando una disminución con respecto al año anterior de -6,9%. Este comportamiento se explica principalmente por la disminución de la producción de concreto para el destino edificaciones (-18,3%), por su parte el destino Obras civiles registró una variación anual de 3,2% en la producción de concreto. (Ver Figura 3).

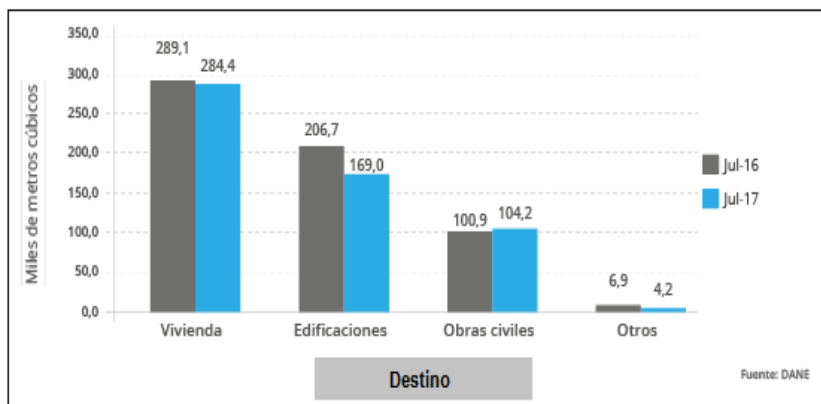


Figura 1.3. Concreto Premezclado según Destino

Fuente:<http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/estadisticas-de-concreto-premezclado>

Uno de los temas principales en el sector de la construcción es la gestión de los RCD, en evento realizado por el Consejo de Construcción Verde de los Estados Unidos (USGBC) en el año 2015 se presentó una estadística sobre la reutilización de Residuos de Construcción y Demolición y es lamentable el porcentaje que presenta Colombia en dicho proceso comparado con otros países.



Figura 1.4. Comparativo de RCD reutilizado ó Reciclado

Teniendo en cuenta este panorama, se presenta este proyecto como una manera de incentivar el uso concreto de residuo de construcción y demolición (R.C.D.), para darle un mejor manejo y aprovechamiento del mismo y así aumentar porcentajes evaluados según las estadísticas.

Para el año 2018, la meta es aumentar el número de kilómetros de nuevas calzadas a 2.769 kilómetros, según informó el Ministerio de Transporte, adicionalmente se planea la terminación de 258 puentes, 40 kilómetros de viaductos y 75,5 kilómetros en 69 túneles [8]. Para lograr estos objetivos y los futuros es necesario un volumen bastante importante de recursos de todo tipo y los materiales son sin duda parte de este eje, con lo cual su tratamiento y uso, es un tema actual y de importancia alta en nuestro medio.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se plantea bajo la óptica de proporcionar otra alternativa adicional al uso de los materiales reciclados tipo RCD, específicamente el uso de una fracción de agregado fino como llenante a un tipo de mezcla donde se realizan diferentes tipos de muestra, como son muestra de control, muestra con llenante al 50% y muestra con llenante al 100% producto de la trituración de concreto hidráulico.

Los aportes que se buscan son:

- Caracterizar el llenante producto de trituración de concreto hidráulico.
- Conocer su comportamiento en asfaltos flexibles.
- Proveer información demostrable del uso del material mencionado.
- En caso de ser apto para su uso, que sirva como herramienta para promover este material.

El beneficio que se puede desprender de esta investigación no solo es académico ya que puede ser de interés para productores de áridos, entidades y contratistas, al contar con una opción adicional para el uso del material.

A diferencia de casi la totalidad de los estudios académicos realizados sobre el uso de RCD en el concreto estructural, los cuales se han dirigido hacia las propiedades mecánicas del concreto en sí, esta investigación busca mostrar los resultados que se obtienen del producto de trituración, para generar un agregado fino e incorporarlo a manera parcial en nuevos materiales.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar el tipo de mezcla propuesta con porcentajes de llenante al 50% y 100% producto de la trituración de concreto hidráulico reciclado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características del material tipo llenante como producto de trituración.
- Establecer una comparativa entre el desempeño de una mezcla asfáltica con este material al 50% y 100% con un tipo de mezcla convencional, denominada muestra de control.
- Conceptuar acerca de la idoneidad de este material e indicar las recomendaciones necesarias para su uso.
- Repaso de la normativa RCD aplicable.

2 ESTADO DEL ARTE Y REVISIÓN DE LITERATURA

Dentro de la documentación relevante encontrada se resaltan los siguientes documentos que dictan lineamientos claros en el uso de reciclados, material fino (llenante o fillers) y políticas que se están teniendo en cuenta actualmente en el medio.

2.1 CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DEL LLENANTE

Los llenantes o fillers son materiales incorporados al ligante asfáltico con el fin de modificar sus propiedades mecánicas, consistencia y complementar la fracción granulométrica en la mezcla asfáltica producida en caliente, para generar una mezcla bien gradada y un mejor comportamiento de esta [10].

Usualmente son sustancias minerales como cal, cemento, polvo de tiza, cenizas de combustible pulverizada, talco, sílice, etc. El efecto general de la adición de llenantes es endurecer el asfalto. En términos prácticos significa que existirá una reducción en su deformación o fluencia producida por una carga, un incremento en su punto de ablandamiento, una reducción de su penetración y un incremento en su rigidez.

El llenante tiene un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas asfálticas debido a que:

- Forma parte del esqueleto mineral y soporta las tensiones por rozamiento interno o por contacto entre partículas.
- Rellena los vacíos del esqueleto de agregados gruesos y finos, por la tanto impermeabiliza y densifica el esqueleto.

-
- Sustituye parte del asfalto que de otra manera sería necesario para conseguir unos vacíos en mezcla suficientemente bajos.
 - Proporciona puntos de contacto entre agregados de mayor tamaño y los encaja limitando sus movimientos, aumentando así la estabilidad del conjunto.
 - Facilita la compactación, actuando a modo de rodamiento entre los agregados más gruesos.
 - Uno de los principales efectos que tiene el llenante mineral sobre los pavimentos es el aumento considerable de durabilidad debido a que se reduce el contenido de vacíos y disminuye la penetración del agua a las capas.
 - Al incrementarse el contenido de llenante aumenta la estabilidad de la mezcla hasta un valor máximo, perdiendo luego estabilidad gradualmente.
 - Un aumento excesivo de llenante en la mezcla asfáltica también genera problemas en su comportamiento, consigue que el pavimento se endurezca demasiado y consecuentemente se vuelva frágil ocasionando fisuras en su capa asfáltica.
 - En la caracterización físico-química del llenante, el factor más significativo es la intensidad de absorción, ésta depende del tipo de llenante principalmente, sus características como la composición mineralógica, características estructurales y textura.

2.2 LINEAMIENTOS DE LA POLÍTICA DE RCD EN BOGOTÁ D.C. – SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE

Dentro del Plan de Desarrollo **“BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS”**, se busca controlar 32.000.000 de toneladas de Residuos de Construcción y Demolición - RCD, con el fin de minimizar el impacto de los RCD y residuos sólidos domiciliarios generados por la ciudad, protegiendo los elementos de la Estructura Ecológica Principal que conlleva a una pérdida de los ecosistemas del Distrito Capital; así mismo, se pretende prevenir la contaminación sobre los recursos naturales aire, agua, suelo, la cual causa riesgos para la salud de la población. De esta manera, el Plan de Desarrollo va orientado a un modelo eficiente y sostenible de gestión de los Residuos de Construcción y Demolición generados en la ciudad, propendiendo por la mayor recuperación y reincorporación al proceso constructivo de la ciudad y por la utilización de plantas de reciclaje.

Por lo anterior, se realizan acciones que permitan efectuar evaluación, control y seguimiento al manejo, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de RCD generados en el D.C, en el marco de lo establecido en la Resolución 1138 de 2013 y el Decreto 586 de 2015, garantizando que los RCD generados se transporten y dispongan cumpliendo lo estipulado en las Resoluciones 01115 de 2012 y 00932 de 2015, con el fin de prevenir, mitigar y minimizar el impacto de los RCD generados por la ciudad, sobre el ambiente y la salud de los ciudadanos.

Los proyectos prioritarios de este programa son:

- Control a la Generación y Aprovechamiento de RCD en Bogotá: Se busca adoptar los lineamientos técnico-ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los Residuos de Construcción y Demolición en el Distrito Capital.

-
- Controlar los sitios autorizados para la disposición final de RCD: Los sitios de disposición final de Residuos de Construcción y Demolición en Bogotá D.C., son sujetos de seguimiento y control ambiental por parte de la entidad, toda vez que la Resolución 01115 de 2012, en su artículo 6, obliga a los sitios de disposición final a registrarse e iniciar el reporte de información en el aplicativo web.
 - Procesos de innovación tecnológica e investigación para la gestión integral de RCD: Busca realizar el diagnóstico y factibilidad del uso de innovaciones tecnológicas que permitan fortalecer los instrumentos de control aplicados, con el fin de formular estrategias para la Evaluación, Control y Seguimiento a Residuos de Construcción y Demolición y otros residuos, generados en el Distrito Capital.
 - Fortalecimiento del control ambiental a través del desarrollo de operativos a las actividades constructivas en Bogotá: Busca diseñar e implementar estrategias encaminadas a mitigar esta problemática ambiental anclada al cumplimiento de la normatividad por medio de sanciones administrativas de cese de actividades.

De esta manera, la administración distrital dentro del Plan de Desarrollo “BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS”, fortaleció las acciones conducentes a la disminución de las afectaciones, mediante el Control de residuos de construcción y demolición en Bogotá; a través de estrategias de mayor control a obras para disminuir la problemática ambiental relacionada con la inadecuada disposición de RCD en Bogotá, todo esto a través de la normatividad ambiental en RCD, y de esta manera fortalecer las acciones de control como también incentivar el aprovechamiento y/o tratamiento de los RCD; así mismo, la haciéndolos participes en la reutilización y aprovechamiento de los RCD, una buena disposición final en sitios autorizados.

Los residuos de construcción y demolición que se generan durante el desarrollo de un proyecto constructivo se pueden clasificar como se muestra a continuación:

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
A. RCD APROVECHABLES	I. Residuos Mezclados	Residuos Pétreos	Concreto, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, baldosin, mortero
	II. Residuos de material fino	Residuos Finos no Expansivos	Arcilla (Caolin), limos y residuos inertes, poco o no plasticos
		Residuos Finos Expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plasticos
	III. Otros Residuos	Residuos no Pétreos	Plasticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos
		Residuos de Carácter Metalico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc
		Residuos organicos de pedones	Residuos de tierra negra
		Residuos Organicos de cespedones	Residuos Vegetales y otras especies bióticas
B. RCD NO APROVECHABLES	IV, Residuos peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitran, pinturas, disolventes organicos, aceites, resinas, etc

Tabla 2.1 Clasificación de los Residuos de Construcción y demolición RCD Fuente:
Adaptada de la Secretaria Distrital de Ambiente, 2015 [9]

El reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) no es una práctica muy común en cualquier tipo de obra; esto como consecuencia de algunos factores, entre ellos la falta de reglamentación que procure el uso de RCD en nuevas obras de infraestructura, todo esto cambió en el papel con la expedición de la resolución 2397 del 25 de abril de 2011 y posteriormente la resolución 1115 del 26 de septiembre de 2012 “Por medio de la cual se adoptan los lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital.”, por medio de la cual se obliga a partir de agosto de 2013 a la reutilización de los RCD en nuevos proyectos en un porcentaje no menor a 5% en volumen o peso de material usado en la obra a construir, y Cada año dicho porcentaje aumentaría en cinco (5) unidades porcentuales hasta alcanzar mínimo un 25%.

2.3 DECRETO 357 DE 1997 – POR EL CUAL SE REGULA EL MANEJO, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE ESCOMBROS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Esta normativa busca implementar directrices de los siguientes temas:

- De las normas de conducta
- De las escombreras y estaciones de transferencia
- De las sanciones y medidas preventivas
- Del procedimiento



Foto 1. Preparación de la demolición



Foto 2. Demolición



Foto 3. Transporte y disposición

2.4 RESOLUCIÓN 01115 DEL 26 DE SEPTIEMBRE 2012 – POR MEDIO DE LA CUAL SE ADOPTAN LOS LINEAMIENTOS TÉCNICOAMBIENTALES PARA LAS ACTIVIDADES DE APROVECHAMIENTO Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EL DISTRITO CAPITAL

Esta normativa busca implementar directrices de los siguientes temas:

-
- De las entidades públicas y constructoras.
 - Obligaciones de los grandes generadores y poseedores de los residuos – RCD.
 - Del registro de generadores.
 - Sitios de tratamiento y/o aprovechamiento de escombros y su ubicación.
 - De las obligaciones de los sitios de tratamiento y/o aprovechamiento
 - Calidad del material reciclado.
 - Del procedimiento y las medidas preventivas y sancionatorias.

2.5 RESOLUCIÓN 932 DE 2015 – OBLIGACIONES DE LOS GRANDES GENERADORES Y POSEEDORES DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN –RCD

Esta resolución es complemento a la anterior y aplica los nuevos “Lineamientos para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Obra”, elaborados por la SDA y permitirá a la autoridad ambiental adelantar las labores de seguimiento y control de manera eficiente, eficaz y efectiva, al tiempo que consentirá estandarizar el contenido mínimo del citado documento que debe ser aprobado por la SDA antes del inicio de la obra.

2.6 SECCIÓN 452-1 EMPLEO DE AGREGADOS PÉTREOS A PARTIR DE CONCRETO HIDRÁULICO RECICLADO – IDU

Este trabajo consiste en el suministro de un material granular proveniente del reciclaje de concreto hidráulico, obtenido de la demolición de pavimentos de concreto y estructuras verticales (edificaciones), y que no hayan sido empleadas como estructuras de almacenamiento de aceites, aguas negras o residuos peligrosos.

Describe lineamientos, dentro de los que se destacan:

-
- Agregado proveniente del reciclaje de concreto hidráulico.
 - Agregado de adición.
 - Ajuste del material.
 - Ejecución de los trabajos.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Los aspectos más relevantes de la investigación son descritos de manera individual en los siguientes numerales.

3.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de localización de esta investigación es Bogotá con posible aplicación escalada a otras ciudades.

Se acota la ciudad debido a que seguirán los parámetros de aceptación que dictan los entes distritales como lo son el IDU (Instituto de Desarrollo Urbano) y la secretaria de ambiente; así como la constitución de los cuerpos de prueba fue realizada con materiales encontrados en la zona.

3.2 POBLACIÓN DE UNIDADES Y VARIABLES DE MEDICIÓN

Se tomarán las muestras suficientes para efectuar los ensayos de caracterización y posterior desempeño. Se proponen tres (3) muestras a ensayar para lograr una población mínima de contraste, las cuales son las siguientes:

- Muestra de control: La cual está constituida de un material normalizado, el cual carece de llenante modificado.
- Muestra al 50%: Estos cuerpos de muestras están constituidos por la aportación de llenante al 50% de control y el otro 50% por el llenante de producto de trituración de concreto hidráulico.

-
- Muestra al 100%: Estas muestras están constituidas en su totalidad por llenante de producto de trituración de concreto hidráulico.

La muestra fue obtenida en planta RECICLADOS INDUSTRIALES DE COLOMBIA de tamaño arena, la cual fue llevada a un laboratorio de trituración de CONCRESCOL, donde se obtuvo el tamaño tipo llenante el cual es pasa tamiz #200.

Ya que es un material relativamente homogéneo se realizó un mezclado previo en la planta de producción para permitir una adecuada toma de muestra, por medio del método casual o al azar, siempre realizando una inspección visual previa que permita dar validez a la muestra.

Las variables consisten en las que proporcionen información suficiente para su caracterización, dentro de las que se encuentra y no limitantes:

- Ensayo de Gravedad específica de llenante.
- Ensayo de tamizado por pasa tamiz #200.
- Ensayo cántabro de pérdida por desgaste.
- Ensayo de Tracción indirecta
- Ensayo Marshall.

Estos ensayos proporcionan información del llenante como material a usar en la mezcla y a su vez suministran información de la mezcla en cuanto a características mecánicas de proporción e integridad.

Estos datos se comparan entre sí para poder conceptuar de la idoneidad del nuevo material e igualmente se contrasta con la normativa.

3.3 DISEÑO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS PRIMARIOS

Esta recolección de datos se encaja dentro del grupo de Investigación Experimental, que consiste en someter a las muestras a determinados ensayos para observar los efectos que pueden producirse y de esta forma detectar la idoneidad del material.

3.4 RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS TÉCNICOS

Para esta Investigación se cuenta con el suministro de muestras de una planta de acopio de materiales, que actualmente se encuentra en el mercado para la ciudad.

Los diferentes ensayos fueron adelantados en el laboratorio de la Universidad Católica y con ayuda externa de dos empresas que realizaron el proceso de aporte y trituración complementaria para llevar el material de tamaño arena a llenante (pasa tamiz #200).

3.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS PRIMARIOS

Conjuntamente con la dirección de la investigación, se determinó la cantidad de ensayos a realizar en las muestras para que fueran representativas del acopio que se toma como fuente, de la siguiente forma:

- Muestra de material suelta: Para los ensayos de Gravedad específica y pasa tamiz #200.
- Briquetas: Para los ensayos de tracción indirecta, cántabro de pérdida por desgaste y Marshall, se toman 9 briquetas por ensayo para un total de 27; las 9 briquetas representan el valor mínimo de caracterización que es 3 para muestras de Control, 3 al 50% de llenante propuesto y 3 para muestras con un 100% de llenante propuesto. De esta forma puede extraerse un promedio para cada estado.

Estos resultados son tabulados y graficados para obtener la visión del comportamiento para cada una de las pruebas.

3.6 MÉTODOS DE CONTROL DE CALIDAD DE DATOS

Como es indicado anteriormente el desarrollo de esta investigación se centra localmente, es así como se garantiza la calidad de los ensayos siguiendo el estándar de normativa del IDU, por medio del comportamiento que dictan las normas correspondientes y en específico lo mencionado en la Tabla 5.10.8, de la Sección 510-11 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DENSAS, SEMIDENSA, GRUESAS, Y DE ALTO MÓDULO:

Tabla 510.8
Criterios de diseño de la mezcla

Característica		Norma de Ensayo	Mezclas Densas, Semidensas y Gruesas			Mezcla Alto Módulo
			Categoría de Tránsito			
			T0 - T1	T2 – T3	T4-T5	
Compactación (golpes/cara)		INV E-748-07	50	75	75	75
Estabilidad mínima (kg)		INV E-748-07	600	750	900	1500
Flujo (mm)		INV E-748-07	2– 4	2-4	2-3.5	2-3
Vacíos con aire (%)	Rodadura	INV E-736-07 Manual MS-2	3-5	3-5	4-6	-
	Intermedia		4-6	4-6	4-6	4-6
	Base		4-6	4-6	4-6	-
Vacíos en agregados (%)	Mezclas 10	Manual MS-2	≥ 16			
	Mezclas 12		≥ 15			
	Mezclas 20		≥ 14			
	Mezclas 25		≥ 13			
Vacíos llenos de asfalto (%): volumen de asfalto efectivo / vacíos en agregados (capas rodadura e intermedia)		Manual MS-2	70-80	65-78	65-75	63-75
Relación llenante / ligante efectivo, en Peso			0.8 – 1.2			1.2 – 1.4
Concentración de Llenante, valor máximo		INV E-745-07	Valor Crítico			

Tabla 3.1 En esta tabla de requerimientos se observa su trazabilidad a las normativas de Invias y ASTM.

3.7 MODELO DE ANÁLISIS DE LOS DATOS E INTERPRETACIÓN

Una vez recolectados los datos tanto de caracterización de la arena como de la mezcla asfáltica, se procedió a realizar su tabulación y su análisis, el cual muestra la tendencia de comportamiento que se comparará con el estándar para establecer su idoneidad. El tratamiento estadístico es para confiabilidad de los datos del 50%, por lo cual se toma el promedio.

La información del comportamiento de las variables se presenta de manera cuantitativa por medio de tablas y gráficos. En este punto se detectan las posibles causas que han llevado a la tendencia de los resultados y se realizarán las recomendaciones para futuras experiencias similares para este material.

3.8 ANÁLISIS

En los análisis se prevén tres posibles escenarios que implican respuestas diferentes por parte del equipo investigador:

- Resultados debajo de mezcla de control: Este escenario implica que el material no es apto, sin embargo pueden detectarse mejoras o toma de otras fuentes para conducir a un incremento en la evaluación de sus características en estudios posteriores.
- Resultados cerca a mezcla de control: Aquí se pueden hacer ajustes, siempre que no impliquen grandes recursos, para garantizar su cumplimiento de manera adecuada. Es de resaltar que este escenario de resultados se encuentra en una franja cercana a control y por lo tanto de baja confianza ya sea por defecto o exceso.
- Resultados sobre mezcla de control: Este juicio es de aceptación de material e idóneo para ser propuesto como alternativa.

Cuando se realice el análisis económico se deben incluir las actividades de selección, disponibilidad de material y trituración. En este análisis es importante incluir costos asociados a alguna variable ambiental, ya que de otra manera claramente estas alternativas por si solas implican mayores inversiones y no proporcionan un sentido lógico de este esfuerzo.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Una vez considerados los ensayos a realizar, la cantidad y su aporte al análisis de la mezcla propuesta con llenante extraído de trituración de concreto hidráulico reciclado, se obtienen los resultados que se exponen a continuación.

4.1 COSIDERACIONES PREVIAS

Tanto para este ensayo como para los dos siguientes fue necesario realizar 3 briquetas de mezcla asfáltica normalizadas con el laboratorio, con las siguientes características para la mezcla de control:

- Penetración para referencia CA 60-70, mediante el ensayo PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS I.N.V. E – 706 – 07, con valores de 60, 61 y 60mm.
- Ductilidad a temperatura de 25°C y velocidad 50 mm/min, de acuerdo al ensayo DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES ASFALTICOS I.N.V. E – 702 – 07, con resultados de 117 y 120cm.
- Punto de ignición y llama mediante el ensayo PUNTOS DE IGNICIÓN Y DE LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA CLEVELAND I.N.V. E – 709 – 07, con valores de punto de ignición de 298°C y punto de llama de 310°C.
- Punto de ablandamiento mediante el ensayo PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (APARATO DE ANILLO Y BOLA) I.N.V. E – 712 – 07, con valores de 43 y 44°C.
- Gravedad específica mediante el ensayo GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm) Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS I.N.V. E – 735 – 07, con valor de 1012.25.

- Gradación de agregados para mezcla mediante el ensayo ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO. I.N.V. E – 123, donde se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4.1 Granulometría de la muestra de control

Tamiz (mm)	Tamiz (mm)	Peso (g)	% Pasa	% Pasa acumulado
3/4"	19.00	142.5	12.5%	100.0%
1/2"	12.50	96.9	8.5%	87.5%
3/8"	9.50	250.8	22.0%	79.0%
#4	4.75	228	20.0%	57.0%
#10	2.00	199.5	17.5%	37.0%
#40	0.43	79.8	7.0%	19.5%
#80	0.18	74.1	6.5%	12.5%
#200	0.075	68.4	6.0%	6.0%
		1140		

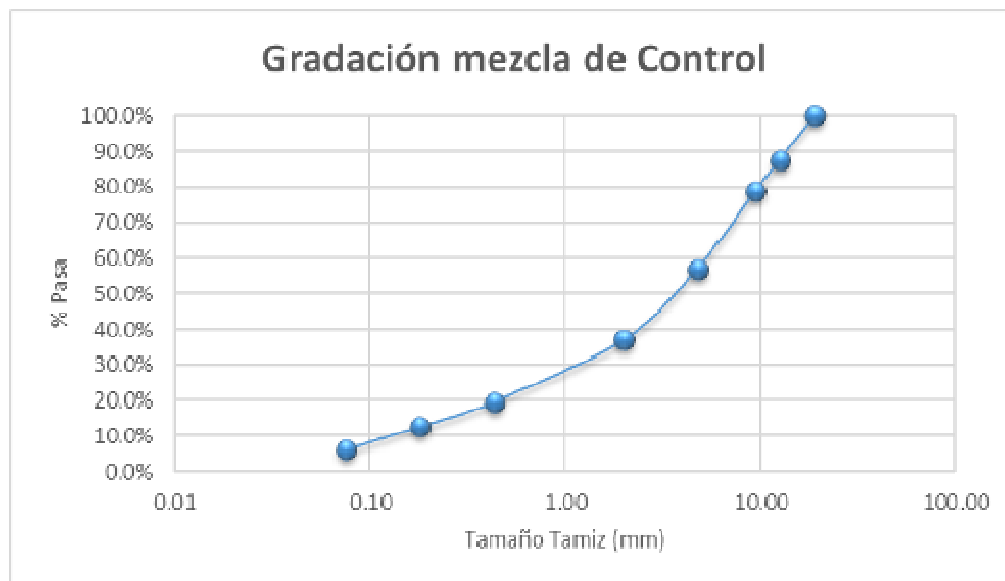


Figura 4.1. Granulometría

Con esta muestra como base se realizan 6 briquetas modificando la parte de llénate con 50% y 100%, para así obtener las 9 briquetas que se utilizan en el ensayo. Las probetas son cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de altura.

Ya que el objeto de este documento es diferenciar el comportamiento de las mezclas cuando únicamente se hace una variación en la fracción de la granulometría del ligante es necesario mantener constantes la otra variable de los ensayos, por lo cual se ha trabajado con un porcentaje de ligante de 5.3% para todas las probetas, el cual es el normalizado para la mezcla asfáltica seleccionada en laboratorio.

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL LLENANTE

Este material como se mencionó anteriormente fue obtenido de una planta activa de Residuos de Construcción y Demolición - RCD a partir del reciclado de materiales provenientes de residuos de trituración de concreto hidráulico de un tamaño tipo arena. Posteriormente se llevó a una planta adicional donde se hace el tratamiento para llegar al tamaño fino.

Considerando que para obtener este material llenante se emplea un proceso extenso se requiere evaluar sus características principales en el laboratorio de la Universidad, de lo que se obtiene:

- Tamizado sobre tamiz #200: Se toma una muestra representativa y sin el uso de agua se procede a hacer pasar el material por este tamiz, donde se corrobora que evidentemente este material cumple con el tamaño fino. Hay que considerar que este material no puede ser lavado ya que contiene cemento que puede reaccionar con el agua y afectar el ensayo.
- Ensayo de Gravedad específica de llenante: Para este ensayo se sigue la norma DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL I.N.V. E – 128 – 07, por medio de la siguiente expresión:

$$G_{s\ 20^{\circ}C} = \frac{W_s \times K}{W_s + W_b - W_a}$$

Donde:

K = factor de corrección basado en la densidad del agua a 20°C, para expresar la gravedad específica a 20°C, $K = (d_{wTx}/d_{w20^{\circ}C})$.

W_a = masa del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo de gravedad específica (tx), en gramos = 63.7g

W_s = masa del llenante (g) = 10.3g

W_b = masa del picnómetro + agua + suelo (g), a la temperatura de ensayo = 56.7g

De lo que se obtiene un valor de $G_s = 3.11$

4.3 ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE

Para obtener los resultados de este ensayo se sigue lo indicado en la norma CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE I.N.V. E – 760 – 07, para nueve briquetas con diferente porcentaje de llenante de prueba.

Este ensayo permite evaluar la cohesión de un ligante que es lo que permite a la mezcla resistir los esfuerzos del tráfico. Por ello, se ha definido esta propiedad como una característica fundamental del ligante, y se ha valorado a partir de la resistencia a la disgregación que el ligante proporciona a una mezcla patrón, de granulometría y composición definida, a la temperatura de 25°C, con los siguientes resultados:

Tabla 4.2 Ensayo Cántabro

Revol.	Control					
	M [g]	%	M [g]	%	M [g]	%

0	1198.4	0.00	1197.9	0.00	1195.3	0.00
300	1131.1	5.62	1133.2	5.40	1132.4	5.26

50% Control y 50% llenante modificado						
Revol.	M [g]	%	M [g]	%	M [g]	%
0	1196.6	0.00	1197.5	0.03	1193.3	0.17
300	1129.1	5.64	1127.4	5.85	1129.2	5.37

100% llenante modificado						
Revol.	M [g]	%	M [g]	%	M [g]	%
0	1199.7	0.00	1198.5	0.00	1197.7	0.00
300	1131.7	5.67	1137.2	5.11	1136.5	5.11



Foto 4. Peso de probeta después de ensayo Cántabro de desgaste

Para cada estado se realiza el promedio para obtener el dato representativo:

Tabla 4.3 resultados promedio para el ensayo cántabro

Mezcla	%
Control	5.43
50% Control y 50% llenante modificado	5.62
100% llenante modificado	5.30

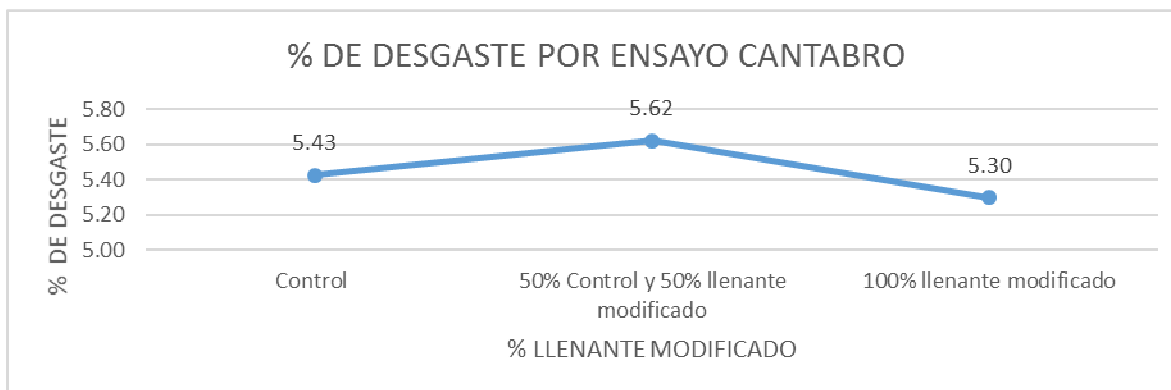


Figura 4.2. Ensayo cántabro de desgaste

4.4 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

Para obtener los resultados de este ensayo se sigue lo indicado en la norma EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA I.N.V. E – 725 – 07, para nueve briquetas con diferente porcentaje de llenante de prueba.

Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en el ensayo Marshall, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas hasta alcanzar la rotura.

La velocidad de desplazamiento del sistema durante la carga será uniforme e igual a 50 mm/min, igual a la empleada por la prensa en el ensayo Marshall. Se determina la resistencia a la tensión de ambos subgrupos a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 1.8^{\circ}\text{F}$)...

La resistencia a tracción indirecta en el momento de la rotura viene dada por la siguiente ecuación:

$$S_t = \frac{2 \cdot P_{\max}}{\pi \cdot t \cdot d}$$

donde:

S_t es la resistencia a la rotura por tracción indirecta.

P_{\max} , es la carga máxima o carga de rotura

t , es el espesor de la probeta de la probeta

d , es el diámetro de la probeta

x , y , son las coordenadas respecto al centro de la probeta.

Los resultados obtenidos para este ensayo fueron los siguientes:

Tabla 4.4 Resultados ensayo Tracción indirecta

Muestra	Control		
	1	2	3
Altura Prom. [cm]	6.40	6.38	6.42
Diámetro [cm]	10.16	10.16	10.16
Carga máx. [kN]	11.86	11.34	11.54
Resistencia [kPa]	1161.2	1113.7	1126.3

Muestra	50% Control y 50% llenante modificado		
	1	2	3
Altura Prom. [cm]	6.35	6.37	6.40
Diámetro [cm]	10.16	10.16	10.16
Carga máx. [kN]	15.79	15.71	15.67
Resistencia [kPa]	1558.1	1545.3	1534.2

Muestra	100% modificado		
	1	2	3
Altura Prom. [cm]	6.40	6.33	6.35
Diámetro [cm]	10.16	10.16	10.16
Carga máx. [kN]	12.58	12.09	12.94
Resistencia [kPa]	1231.6	1196.8	1276.9



Foto 5. Rotura a tracción indirecta de probeta con reemplazo de 50% de llenante.



Foto 6. Probetas luego de ensayo de tracción indirecta.

Para cada estado se realiza el promedio para obtener el dato representativo:

Tabla 4.5 Resultados promedio ensayo tracción indirecta

Mezcla	RT [kPa]
Control	1133.7
50% Control y 50% llenante modificado	1545.9
100% modificado	1235.1

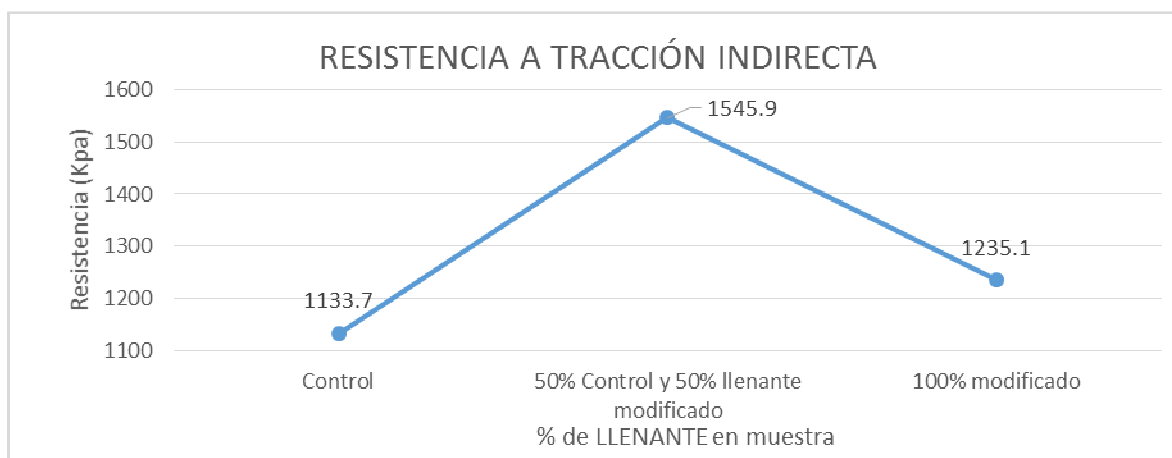


Figura 4.3. Ensayo tracción indirecta

4.5 ENSAYO MARSHALL

Para obtener los resultados de este ensayo se sigue lo indicado en la norma RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL I.N.V. E – 748 – 07, para nueve briquetas con diferente porcentaje de llenante de prueba.

El ensayo Marshall es ampliamente reconocido para el diseño de mezclas asfálticas para determinar el contenido óptimo de asfalto para un determinado tipo de mezcla asfáltica, en donde se indican los intervalos permisibles de las propiedades fundamentales para cada tipo

de mezcla asfáltica en caliente como lo son: la Densidad, el Contenido de Vacíos del agregado Mineral (VMA), el Contenido de Vacíos llenos de asfalto (VFA), la Estabilidad, y Flujo como resistencia mecánica a la deformación plástica de especímenes cilíndricos, empleando el aparato Marshall.

Para el objeto de esta investigación se requiere hacer un comparativo del comparativo de resistencia más que determinar el contenido de asfalto óptimo, por lo cual se debe considerar que esa propiedad es constante y se toma como valor 5.3% que es el normalizado para la mezcla del laboratorio de control.

Una vez ensayadas las probetas siguiendo el método de ensayo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.6 Resultados ensayo Marshall

Peso específico CA	1.012
Peso específico AP	2.572

Control											
Longitud [cm]	CA [%]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm ³]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VFA [%]	VMA [%]
6.46	5.3	1196	681	1197	2.318	85.34	2.38	2.52	12.14	82.81	14.66
6.38	5.3	1199	681	1200	2.310	85.06	2.38	2.84	12.10	80.99	14.94
6.42	5.3	1199	684	1200	2.324	85.56	2.38	2.28	12.17	84.25	14.44
6.42	5.30	1198.00	682.00	1199.00	2.32	85.32	2.378	2.54	12.14	82.68	14.68

50% Control y 50% llenante modificado											
Longitud [cm]	CA [%]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm ³]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VFA [%]	VMA [%]
6.32	5.3	1199	686	1200	2.333	85.89	2.38	1.89	12.22	86.57	14.11
6.35	5.3	1194	676	1195	2.301	84.71	2.38	3.25	12.05	78.78	15.29
6.30	5.3	1194	681	1195	2.323	85.53	2.38	2.30	12.17	84.08	14.47
6.32	5.30	1195.67	681.00	1196.67	2.32	85.38	2.378	2.48	12.14	83.14	14.62

100% llenante modificado											
Longitud [cm]	CA [%]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm ³]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VFA [%]	VMA [%]
6.27	5.3	1197	683	1198	2.324	85.58	2.38	2.25	12.17	84.41	14.42
6.25	5.3	1196	686	1197	2.341	86.18	2.38	1.57	12.26	88.67	13.82
6.28	5.3	1198	687	1199	2.340	86.15	2.38	1.59	12.25	88.49	13.85
6.27	5.30	1197.00	685.33	1198.00	2.33	85.97	2.378	1.80	12.23	87.19	14.03



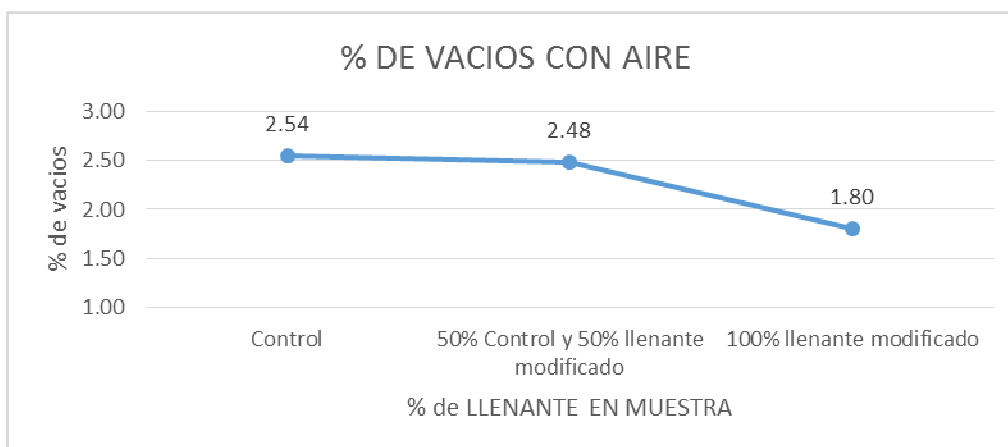
Foto 7. Rotura de ensayo Marshall.

Para cada estado se realiza el promedio para obtener el dato representativo:

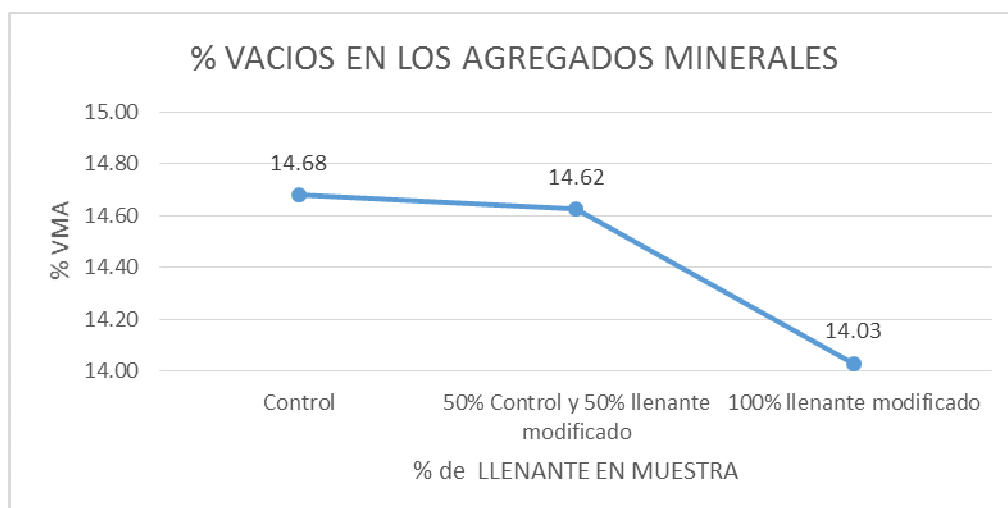
Tabla 4.7 Resultados ensayo Marshall promedio

Mezcla	Densidad	Vacíos	VMA	VFA [%]
--------	----------	--------	-----	---------

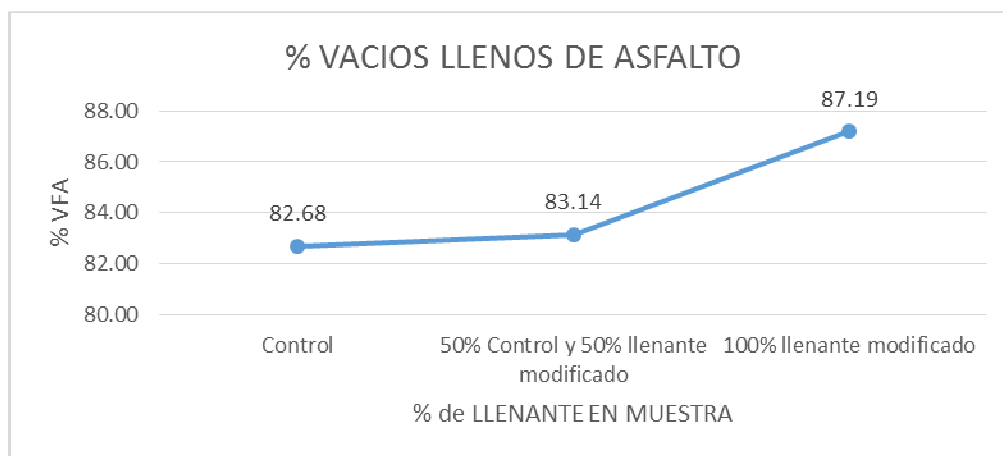
	bulk [g/cm ³]	[%]	[%]	
Control	2.317	2.54	14.68	82.68
50% Control y 50% llenante modificado	2.319	2.48	14.62	83.14
100% llenante modificado	2.335	1.80	14.03	87.19



Grafica 4 Ensayo Marshall vacíos de aire



Grafica 5 Ensayo Marshall vacíos de aire en agregados



Grafica 6 Porcentaje vacíos de asfalto

Una vez se ha hallado la composición de las diferentes mezclas se procede a realizar la prueba de resistencia para hallar la Estabilidad y Flujo, donde se obtienen los siguientes valores:

Tabla 4.8 Muestra de control

Control				
E [kN]	E - corregida [kN]	Flujo	F [mm]	E/F [kN/mm]
13.06	12.71	150.0	3.810	3.34
13.19	13.10	150.0	3.810	3.44
13.21	12.99	155.0	3.937	3.30
13.15	12.93	151.7	3.85	3.36

50% Control y 50% llenante modificado				
E [kN]	E - corregida [kN]	Flujo	F [mm]	E/F [kN/mm]
17.18	17.32	135.0	3.429	5.05
17.46	17.46	135.0	3.429	5.09
17.98	18.21	130.0	3.302	5.52
17.54	17.66	133.3	3.39	5.22

100% llenante modificado				
E [kN]	E - corregida [kN]	Flujo	F [mm]	E/F [kN/mm]
13.73	14.02	155.0	3.937	3.56
14.94	15.34	180.0	4.572	3.36

15.78	16.08	180.0	4.572	3.52
14.82	15.15	171.7	4.36	3.48

Para cada estado se realiza el promedio para obtener el dato representativo:

Tabla 4.9 Estabilidad

Mezcla	E [kg]	F [mm]	E/F [kg/mm]
Control	12.93	3.85	3.36
50% Control y 50% llenante modificado	17.66	3.39	5.22
100% llenante modificado	15.15	4.36	3.48

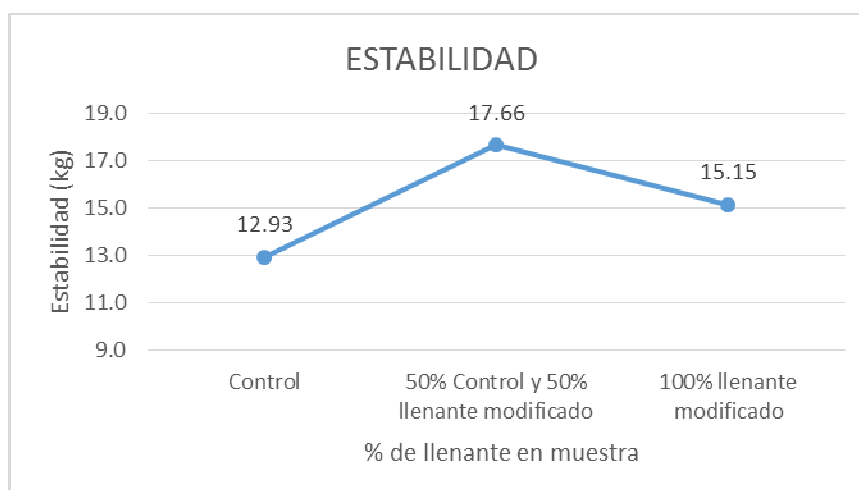


Figura 4.4. Ensayo Marshall-estabilidad

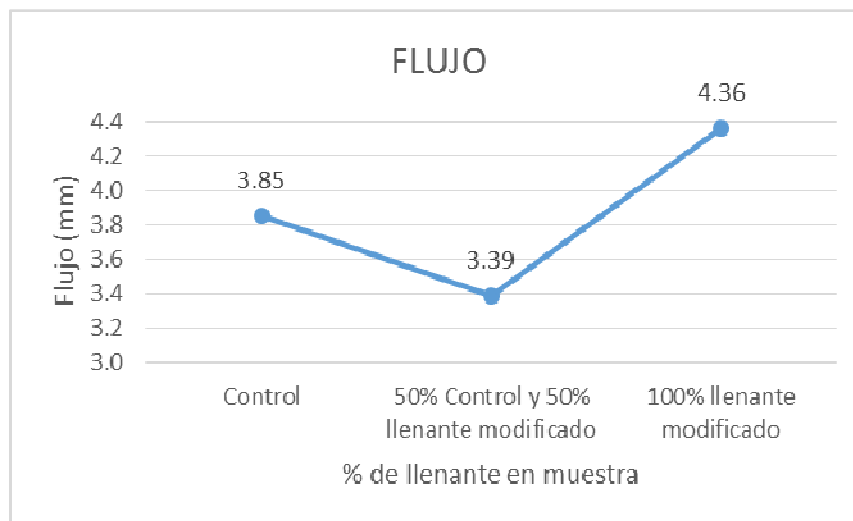


Figura 4.5. Ensayo Marshall-flujo

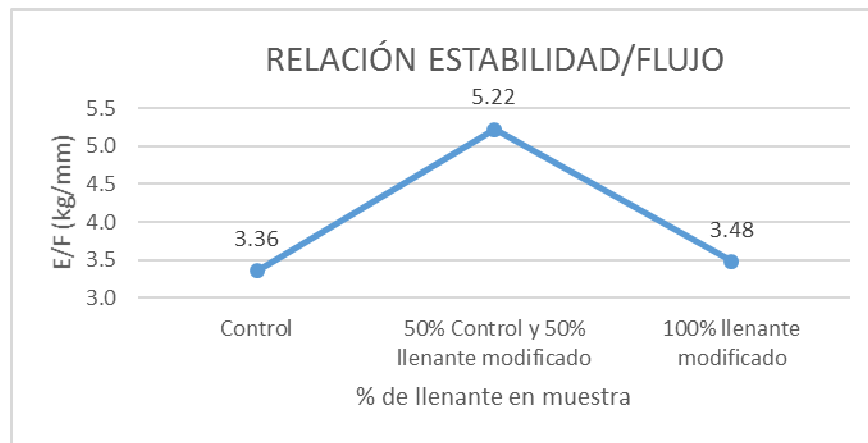


Figura 4.6. Relación Estabilidad/Flujo

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez descritos el origen de las muestras, los ensayos realizados, sus resultados, su tratamiento y comparación, se procede al análisis de las mezclas ensayadas para los diferentes resultados obtenidos del laboratorio.

Del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste se puede apreciar que los valores son semejantes con variaciones menores con respecto a la probeta de control, sin embargo se muestra una ligera mejora en el desgaste cuando el llenante es totalmente reemplazado, esto podría tener origen en el aporte de adhesión del mortero remanente.

En el ensayo de tracción indirecta puede observarse que el llenante en todo caso mejora la resistencia a la tracción e incluso para la muestra intermedia evidencia una mejora en el resultado mayor al 30%, por lo cual es evidente la adhesión entre partículas adicional que ofrece el reemplazo del llenante.

A partir de estos resultados del ensayo de Marshall se evidencia que las propiedades fundamentales de las mezclas en el % de Vacíos, Contenido de Vacíos del agregado Mineral (VMA) y el Contenido de Vacíos llenos de asfalto (VFA), no presentan notables diferencias y si con valores reducidos de vacíos en general. Se observa igualmente que el efecto del cambio total del llénate incrementa el volumen de la pasta (Ligante+Llenante), esto puede ser causado por la presencia de material puzolánico al reaccionar con el agua.

Cuando se realiza la prueba de estabilidad, al igual que en el caso de la tracción indirecta, en el estado de modificación al 50%, arroja una mejora de la resistencia mayor al 30% e incluso cuando el reemplazo es total aún sigue siendo mayor que la muestra de control. Este

comportamiento expone una mejor adherencia entre las partículas causado por la reacción del material cementante.

Adicionalmente se evidencia una mejora igualmente en la deformación por medición del flujo para la muestra de reemplazo parcial de llenante, pero hay descenso cuando se hace el reemplazo total, lo que quiere decir que el exceso de pasta llega un momento que aporta mayor plasticidad al conjunto.

Aunque esta optimización requiere actividades adicionales en cuanto a la consecución de material reciclado y la obtención de las partículas finas de llenante, a juicio de los redactores de esta investigación, se considera viable y recomendable realizar este tipo de reemplazo para mejorar la resistencia mecánica alrededor del 30%.

También es interesante destacar que no es recomendable realizar un reemplazo total ya que en ese caso no todas las características son mejoradas, lo que si sucede cuando el reemplazo es del 50%.

Con el objetivo de lograr mayores definiciones con respecto a este tema, se puede dar un alcance adicional a esta investigación acotando el reemplazo de llenante en proporciones que pueden variar entre el 40 al 70% para detectar el punto máximo de comportamiento y adicionalmente realizar pruebas con vida a 14 y 28 días para detectar la reacción definitiva sobre la mezcla, que se espera que aun redunde en valores mayores a los obtenidos.

Considerando que este trabajo fue positivo en virtud de los resultados de resistencia, se considera este documento como prueba para su aplicación real en producción.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


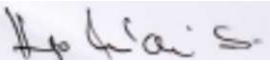
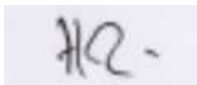
- [1] Ruoyo J, Qian C (2015) Investigation of Concrete recycling in the U.S construction industry. En: Procedia Engineering, Vol. 118, pp 894-901.
- [2] Flórez García N. (2012). Gestión de Residuos de la Construcción y la Demolición. En: http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library (3 Noviembre del 2015).
- [3] Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (2015) UAESP Escombros Cero. . En: http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library (3 Noviembre del 2015).
- [4] Parrado Delgado C (2012). Manual de Residuos de Construcción y Demolición para Obras en Bogotá. En: http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library (3 Noviembre del 2015).
- [5] Mack J, Solberg C, Voigt G (1993) Recycled Concrete Pavement. En: Skokie, Publication No TB-014P.
- [7] Federal Highway Administration (2004). FHWA Transportation Application of Recycled Concrete Aggregate. Washington. D.C. FHWA
- [8] Artículo del periódico La República, Isis Beleño, 12 de Enero de 2018, Editorial La República S.A.S.
- [9] Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público para Bogotá D.C. Instituto de Desarrollo Urbano – IDU.

-
- [10] Tesis “Comparación estructural y estimación de la utilización de concreto con agregados naturales y concreto con residuos de construcción y demolición RCD”. (2017). Julio Vicente Castellanos Giraldo, Freddy Duván Rivera y Miguel Roa Morales. Universidad Católica de Colombia.
- [11] Federal Highway Administration (1997). User guidelines for waste and byproduct in pavement construction. Publication number: FHWA-RD-97-148. Washington. D.C. FHWA.
- [12] William A. Yrjanson. American Concrete Pavement Association. (1989). National cooperative highway research program, synthesis of highway practice 154: Recycling of portland cement concrete pavements.

ANEXOS

ANEXO 1 RESULTADOS DE LABORATORIO

ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>	LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL 2018																																																																
CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE																																																																	
INFORME DE ENSAYO																																																																	
PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E760-13																																																																	
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 20px;"> <p>PROYECTO: <u>REEMPLAZO DE LLENANTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS</u></p> <p>Fecha de Ensayo <u>04/05/2019</u> Fecha Recepción _____</p> </div> <p>I. DATOS DEL ENSAYO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 20px;"> <tr> <th>Referencia</th> <th>300 R</th> <th>300 R</th> <th>300 R</th> <th>300 R</th> <th>300 R</th> <th>300 R</th> <th></th> </tr> <tr> <td>Muestra</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Condición de la muestra</td> <td>SECA</td> <td>SECA</td> <td>SECA</td> <td>SECA</td> <td>SECA</td> <td>SECA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td>CONV.</td> <td>CONV.</td> <td>CONV.</td> <td>CONV.</td> <td>CONV.</td> <td>CONV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Masa muestra inicial (g)</td> <td>1198.4</td> <td>1197.9</td> <td>1195.3</td> <td>1196.6</td> <td>1197.5</td> <td>1103.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Masa muestra final (g)</td> <td>1131.1</td> <td>1133.2</td> <td>1132.4</td> <td>1.129.1</td> <td>1127.4</td> <td>1.129.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pérdida (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de pérdida %</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <div style="margin-top: 20px;"> <p>OBSERVACIONES</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 100px;"> 1 A 3 = CONVENCIONALES 4 A 6 = 50% FILLER Y MODIFICADO 50% 7 A 9 = 100% MODIFICADO </div> </div> <div style="margin-top: 30px; display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Lab/ta: <u></u></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Revisó: <u></u></p> </div> </div>		Referencia	300 R	300 R	300 R	300 R	300 R	300 R		Muestra	1	2	3	4	5	6		Condición de la muestra	SECA	SECA	SECA	SECA	SECA	SECA		Descripción	CONV.	CONV.	CONV.	CONV.	CONV.	CONV.		Masa muestra inicial (g)	1198.4	1197.9	1195.3	1196.6	1197.5	1103.3		Masa muestra final (g)	1131.1	1133.2	1132.4	1.129.1	1127.4	1.129.2		Pérdida (g)								Porcentaje de pérdida %							
Referencia	300 R	300 R	300 R	300 R	300 R	300 R																																																											
Muestra	1	2	3	4	5	6																																																											
Condición de la muestra	SECA	SECA	SECA	SECA	SECA	SECA																																																											
Descripción	CONV.	CONV.	CONV.	CONV.	CONV.	CONV.																																																											
Masa muestra inicial (g)	1198.4	1197.9	1195.3	1196.6	1197.5	1103.3																																																											
Masa muestra final (g)	1131.1	1133.2	1132.4	1.129.1	1127.4	1.129.2																																																											
Pérdida (g)																																																																	
Porcentaje de pérdida %																																																																	



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL
2018

**CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE
PÉRDIDA POR DESGASTE**

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E760-13

PROYECTO: REEMPLAZO DE LLENANTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

Fecha de Ensayo 06/05/2019

Fecha Recepción _____

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia	300 R	300 R	300 R				
Muestra	7	8	9				
Condición de la muestra	SECA	SECA	SECA				
Descripción	100%	100%	100%				
Masa muestra inicial (g)	1199.7	1198.5	1197.7				
Masa muestra final (g)	1131.7	1137.2	1136.5				
Pérdida (g)							
Porcentaje de pérdida %							


OBSERVACIONES

1 A 3 = CONVENCIONALES


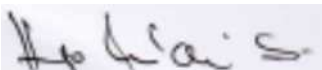
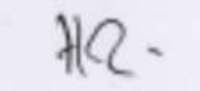
4 A 6 = 50% FILLER Y MODIFICADO 50%

7 A 9 = 100% MODIFICADO


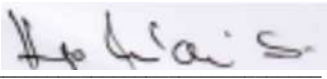
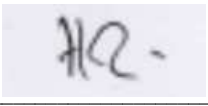
Lab/ta: 

Revisó: 

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

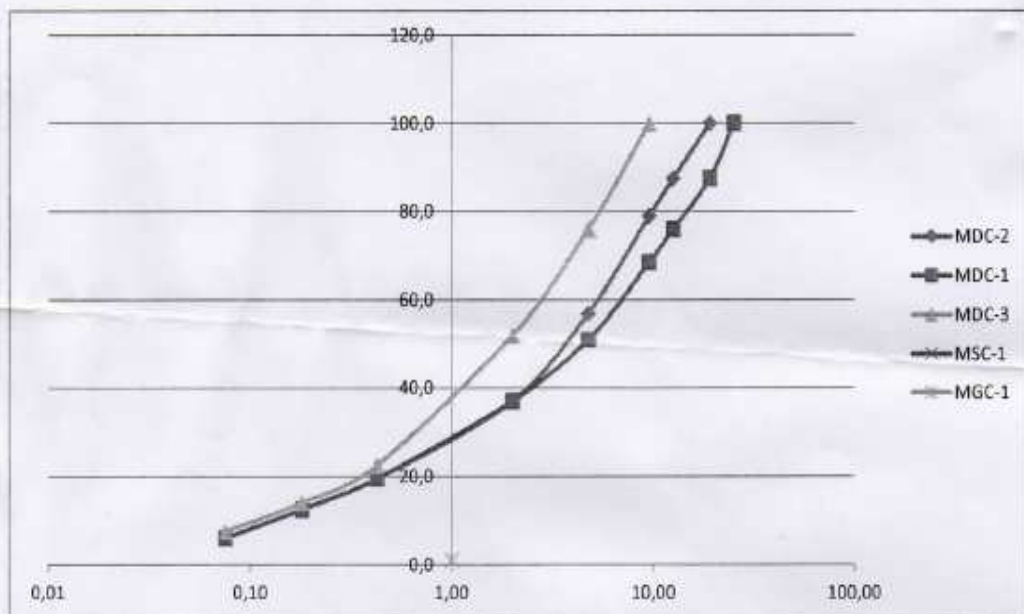
 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>	LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL 2018
ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA (INV. E-725-13) - CONCRETO ASFÁLTICO	
PROYECTO	REEMPLAZO DE LLENANTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS
TEMPERATURA DE MEZCLA	150°C
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN	135° - 140°
No. DE GOLPES POR CAPA	75
PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS	CONCRESCOL Gs. A. PETREOS 2.64 -252
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	60 - 70 Gs. ASFALTO 1022
	TRACCION INDIRECTA
Briqueta No.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Tipo de Mezcla	MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19
% Asfalto	5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3%
Altura Briqueta (cm)	6.4 6.38 6.42 6.35 6.37 6.40 6.40 6.33 6.35
Paso briqueta en aire Seca (g)	1197 1195 1193 1198 1196 1197 1200 1198 1199
Peso briqueta en aire SSS (g)	1198 1196 1195 1200 1197 1197 1201 1198 1200
Peso briqueta en agua (g)	684 678 679 682 682 682 687 687 688
Lectura de carga (KN)	11.86 11.34 11.54 15.79 15.71 15.67 12.58 12.09 12.94
Flujo (1/100")	
OBSERVACIONES <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;"> 1 A 3 = CONVENCIONALES (0%) 4 A 6 = 50% FILLER Y MODIFICADO 50% 7 A 9 = 100% MODIFICADO </div>	
Lab/ta: 	Revisó: 

ENSAYO MARSHALL

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>	LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL 2018
ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO	
PROYECTO	REEMPLAZO DE LLENANTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS
TEMPERATURA DE MEZCLA	150°C
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN	135° - 140°
No. DE GOLPES POR CAPA	75
PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS	CONCRESCOL
	Gs.A.PETREOS 2.64 -252
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	60 - 70
	Gs. ASFALTO 1022
Briqueta No.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Tipo de Mezcla	MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19 MDC-19
% Asfalto	5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3% 5.3%
Altura Briqueta (cm)	6.46 6.38 6.42 6.32 6.35 6.30 6.27 6.25 6.28
Peso briqueta en aire Seca (g)	1196 1199 1199 1199 1194 1194 1197 1196 1198
Peso briqueta en aire SSS (g)	1197 1200 1200 1200 1194 1195 1198 1197 1199
Peso briqueta en agua (g)	681 681 684 686 676 681 683 686 687
Lectura de carga (KN)	13.06 13.19 13.21 17.18 17.46 17.98 13.73 14.94 15.78
Flujo (1/100")	150 150 155 135 135 130 155 180 180
<p>LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN LB</p> <p>OBSERVACIONES</p> <p>1 A 3 = CONVENCIONALES</p> <p>4 A 6 = 50% FILLER Y MODIFICADO 50%</p> <p>7 A 9 = 100% MODIFICADO</p>	
Lab/ta: 	Revisó: 

GRADACION DE LA MEZCLA

MEZCLA TIPO MDC-19 Central							
TAMIZ	Tamiz [mm]	% PASA	% RETENIDO	54 g de CA	60 g de CA	66 g de CA	72 g de CA
3/4"	19,00	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1/2"	12,50	87,5	12,5	143,3	142,5	141,8	141,0
3/8"	9,50	79,0	8,5	97,4	96,9	96,4	95,9
4	4,75	57,0	22,0	252,1	250,8	249,5	248,2
10	2,00	37,0	20,0	229,2	228,0	226,8	225,6
40	0,43	19,5	17,5	200,6	199,5	198,5	197,4
80	0,18	12,5	7,0	80,2	79,8	79,4	79,0
200	0,075	6,0	6,5	74,5	74,1	73,7	73,3
FONDO		0,0	6,0	68,8	68,4	68,0	67,7
			100,0	1146	1140	1134	1128



GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL LIGANTE



PINZ - LAB
LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES
INTERV. - INSPECT. - LAB/TA - ING. CIVIL

**TOMA DE DATOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS
SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS - MÉTODO DEL PICNÓMETRO**

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-01 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 707-07

CÓDIGO ORDEN: _____

Fecha de Ensayo: _____

EQUIPO UTILIZADO (No de Inventario)

Picnómetro: _____ Baño de Agua: _____ Balanza: _____

Termómetro: _____

Referencia: CA-60-70

Descripción: CONVENCIONAL


PRUEBA No.	1	2
Temperatura de ensayo [°C]	25.1	
Peso del picnómetro (incluido el tapón), A [g]	32.081	
Peso del picnómetro con agua, B [g]	56.293	
Peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto, C [g]	44.735	
Peso de picnómetro con asfalto y con agua, D [g]	56.410	
Gravedad específica	1.02,25 1.012,25	

OBSERVACIONES: _____


 EJECUTO: LABORATORISTA


 REVISÓ: TECNÓLOGO

ENSAYO DE PENETRACIÓN DEL LIGANTE



PINZ - LAB
LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES
INTERV. - INSPECT. - LAB/TA - ING. CIVL.

**TOMA DE DATOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS
SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS – MÉTODO DEL PICNÓMETRO**

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 705-07

CÓDIGO ORDEN: _____	Fecha de Ensayo: _____
---------------------	------------------------

EQUIPO UTILIZADO (No de Inventario)	
Penetrómetro: _____ X _____	Cronómetro: _____ X _____
Baño de Agua: _____ X _____	Termómetro: _____ X _____

Referencia: CA-60-70

Descripción: CONVENCIONAL

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No. 1 (0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1	25°C	60	61	60
2				

Carga (g): _____ Tiempo (s): 5 SEGUNDOS

OBSERVACIONES: _____

Referencia: _____

Descripción: _____

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No. 1 (0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1				
2				

Carga (g): _____ Tiempo (s): _____

OBSERVACIONES: _____

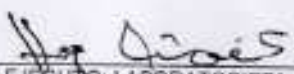
Referencia: _____

Descripción: _____


Molde	Temperatura (°C)	Penetración No. 1 (0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1				
2				

Carga (g): _____ Tiempo (s): _____

OBSERVACIONES: _____




EJECUTO: LABORATORISTA



REVISÓ: TECNÓLOGO

ENSAYOS DE DUCTILIDAD, ABLANDAMIENTO, PUNTO DE IGNICIÓN Y DE LLAMA



PINZ - LAB
LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES
INTERV. - INSPECT. - LAB/TA - ING. CIVIL

TOMA DE DATOS MATERIALES ASFÁLTICOS

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: (E-AP1-03) (E-AP1-03) (E-AP1-05) PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-702-07 INV E-709-07 INV E-712-07

CÓDIGO ORDEN: _____	Fecha de Ensayo: _____
---------------------	------------------------

Referencia: <u>CA-60-70</u>
Descripción: <u>CONVENCIONAL</u>

I. DUCTILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS (INV E-702-07)

EQUIPO UTILIZADO (No. De inventario) _____

Ductómetro _____ Termómetro _____ Baño María _____

PRUEBA No.	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (mm/min)	Probeta No. 1 (cm)	Probeta No. 2 (cm)	Probeta No. 3 (cm)
1	25.0	50	117	120	
2					
3					

OBSERVACIONES: _____

II. PUNTO DE IGNICIÓN Y DE LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA CLEVELAND (INV E-709-07)

EQUIPO UTILIZADO (No. De inventario) _____

Equipo Copa Abierta de Cleveland X Termómetro X

PRUEBA No.	1	2	3
Temperatura del punto de ignición A (°F)	298°C		
Temperatura del punto de llama A (°F)	310°C		

OBSERVACIONES: _____

III. PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE ANILLO Y BOLA (INV E-712-07)


EQUIPO UTILIZADO (No. De inventario) _____

Aparato de Anillo y Bola X Termómetro X Baño María X


Placa de Calentamiento MECHERO

ANILLO No.	Líquido utilizado	Punto de ablandamiento (°C)
1	AGUA DESTILADA	43.5°C
2	AGUA DESTILADA	44.0°C

OBSERVACIONES: _____



EJECUTO LABORATORISTA



REVISÓ TECNÓLOGO

Archivo: AF-01 - Calidad Específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos-Método del picnómetro
Revisión: 09-04-00v1

ANEXO 2. FOTOS



PROBETAS ENSAYADAS



ORGANIZACIÓN DE PROBETAS ENSAYADAS POR MARSHALL



EVALUACIÓN VISUAL DE PROBETAS ENSAYADAS



PROBETAS DE GRUPOS DE CONTROL, 50% DE REEMPLAZO DE LLENANTE Y
100% DE REEMPLAZO DE LLENANTE



PESO ELECTRONICO DE BRIQUETA



INMERSIÓN DE PROBETA



PROBETAS EN INMERSIÓN



PROBETAS PREPARADAS PARA ENSAYO MARSHALL



PROBETAS EN INMERSIÓN A 25°C.



ROTURA DE PROBETA A TRACCIÓN INDIRECTA CON 100% REEMPLAZO DE
LLENANTE.



ROTURA A TRACCIÓN INDIRECTA DE PROBETA DE CONTROL.



DETALLE PRENSA ENSAYO DE MARSHALL.



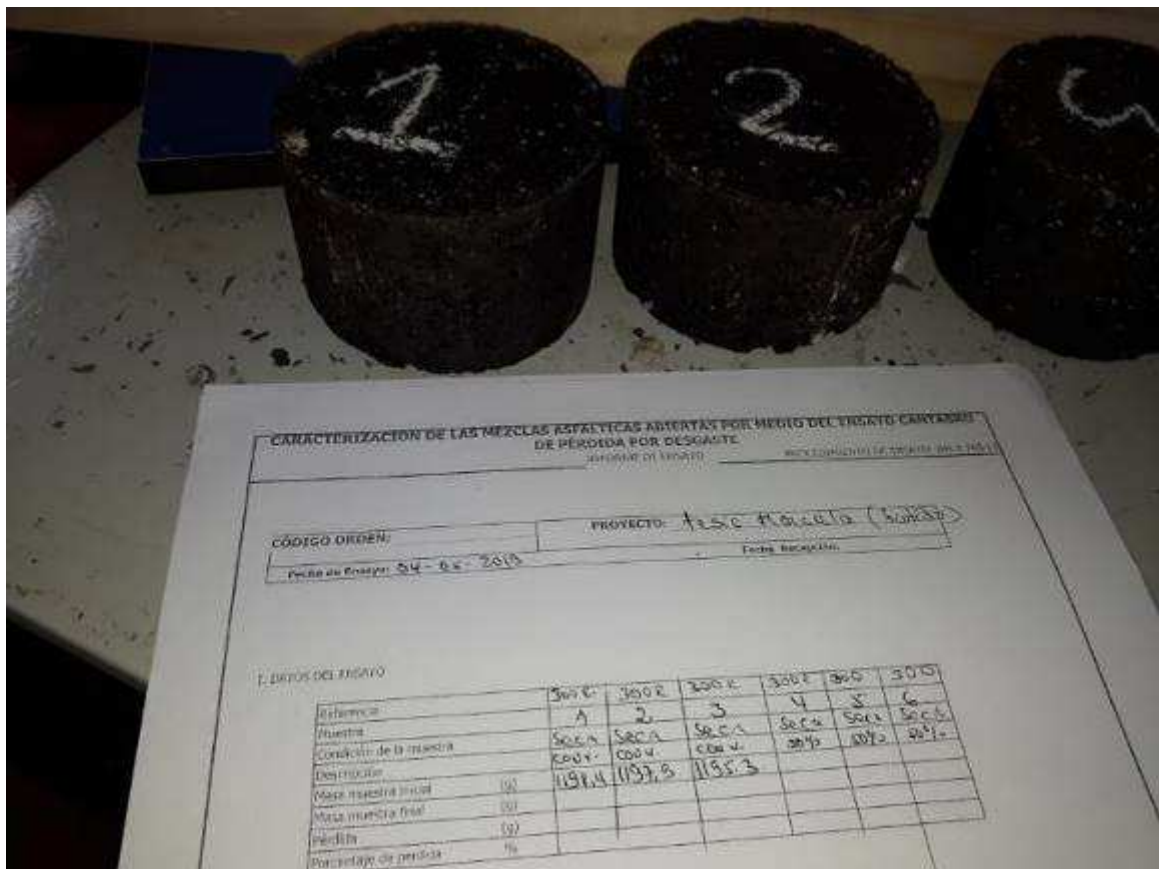
MEDICIÓN DE TEMPERATURA.



MAQUINA DE LOS ANGELES EN ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE.



PESO PROBETA ANTES DE ENSAYO DE DESGASTE CANTABRO.



TOMA DE DATOS DEL ENSAYO DE DESGASTE CANTABRO.